

**Patentschrift**  
**DE 197 55 693 C 1**

21	Aktenzeichen:	197 55 693.0-24
22	Anmeldetag:	16. 12. 97
43	Offenlegungstag:	-
45	Veröffentlichungstag der Patenterteilung:	29. 7. 99

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**C 10 B 49/02**  
C 10 B 49/16  
C 10 B 53/00  
C 10 B 55/00  
C 10 J 3/58

⑦3 Patentinhaber:  
DMT-Gesellschaft für Forschung und Prüfung mbH,  
45307 Essen, DE

⑦④ Vertreter:  
Palgen und Kollegen, 45133 Essen

⑦2 Erfinder:  
Mühlen, Heinz-Jürgen, Dr., 48167 Münster, DE;  
Schmid, Christoph, Dr., 51702 Bergneustadt, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE	25 37 732 C3
DE	36 11 429 A1
US	45 68 362

⑤4 Verfahren zur Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen

⑤7 Verfahren zur Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen, bei dem

a) die organischen Stoffe in einen Pyrolysereaktor geleitet werden, in welchem die organischen Stoffe mit einem Wärmeträgermedium in Kontakt gehalten werden, wodurch eine schnelle Pyrolyse stattfindet, bei der die organischen Stoffe in Pyrolyseprodukte umgesetzt werden, wobei die Pyrolyseprodukte aus Pyrolysegasen mit kondensierbaren Stoffen und mit einem festen kohlenstoffhaltigen Rückstand bestehen

b) der feste kohlenstoffhaltige Rückstand und das Wärmeträgermedium einer Feuerung zugeführt werden, in der der kohlenstoffhaltige Rückstand verbrannt und das Wärmeträgermedium aufgeheizt und wieder dem Pyrolyse- reaktor zugeführt wird (Wärmeträgermedium-Kreislauf)

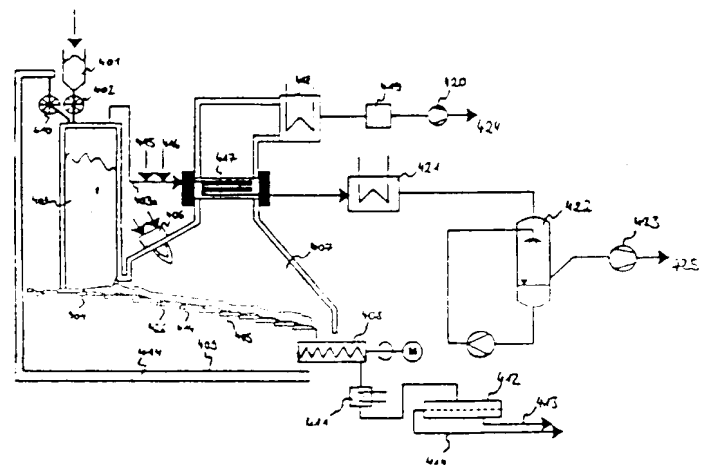
c) die teerhaltigen Pyrolysegease in einer zweiten Reaktionszone derart nacherhitzt werden, daß ein Produktgas mit hohem Heizwert erhalten wird, wobei

d) die Pyrolyse in einem Wanderbettreaktor oder eine Drehtrommel durchgeführt wird,

e) den Pyrolysegasen ggf. ein Reaktionsmittel, wie Wasserdampf, zugemischt, und sie

f) in einen indirekten Wärmetauscher geleitet werden, in dem die Pyrolyse gas mit dem Reaktionsmittel reagieren, g) die Feuerungsab gas derart durch den indirekten Wärmetauscher geleitet werden, daß deren Wärmeinhalt für die Reaktion der Pyrolyse gas mit dem Reaktionsmittel genutzt wird, und

h) die aus der Feuerung abgezogene Asche der festen kohlenstoffhaltigen Rückstände und das Wärmeträgermedium am ...



**DE 197 55 693 C 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

- 5 Aus der US-PS 4.568.362 ist ein Verfahren zur Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen bekannt, bei dem die organischen Stoffe in einen Pyrolysereaktor geleitet werden, in dem die organischen Stoffe mit einem Wärmeträgermedium in Kontakt kommen, wodurch eine schnelle Pyrolyse stattfindet, bei der die organischen Stoffe in Pyrolyseprodukte, d. h. Pyrolysegase mit kondensierbaren Stoffen und festen kohlenstoffhaltigen Rückstand umgesetzt werden. Die nötige Wärmeenergie für die Pyrolyse wird durch Verbrennen des festen kohlenstoffhaltigen Rückstandes erzeugt. Die teerhaltigen Pyrolysegase werden in einer zweiten Reaktionszone derart Crackreaktionen und Reaktionen mit Wasserdampf unterworfen, daß ein Produktgas mit hohem Heizwert erhalten wird.

Bei diesem Verfahren erfolgt sowohl die Pyrolyse, als auch die Verbrennung des festen kohlenstoffhaltigen Rückstands in einer Wirbelschicht. In dem oberen Teil des Pyrolysewirbelschichtreaktors ist eine Reaktionszone für die teerhaltigen Pyrolysegase vorgesehen.

- 15 Das Wärmeträgermedium wird zusammen mit dem festen kohlenstoffhaltigen Rückstand zum Teil über den Reaktor-kopf des Pyrolyse-Wirbelschicht-Reaktors und der restliche Anteil über eine Leitung, die an der oberen Wirbelschicht-grenze angeordnet ist, ausgetragen und der Wirbelschichtfeuerung zugeführt. Dort wird der feste kohlenstoffhaltige Rückstand verbrannt und das Wärmeträgermedium aufgeheizt. Das aufgeheizte Wärmeträgermedium und die Asche werden zusammen mit dem Abgas aus der Wirbelschichtfeuerung ausgetragen und in einem oberhalb des Pyrolyse-Wirbelschicht-Reaktors angeordneten Gas-Feststoff-Abscheider abgetrennt und der Reaktionszone des Pyrolysereaktors zugeführt, von der sie wieder in die Wirbelschicht des Pyrolysereaktors fallen (Wärmeträgermedium-Kreislauf).

Das Betreiben der Wirbelschichten ist sehr aufwendig und eine Steuerung der Reaktionen der Pyrolysegase in der Reaktionszone ist kaum möglich.

- 25 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein einfach durchzuführendes Verfahren zur Erzeugung eines Gases mit hohem Heizwert zur Verfügung zu stellen. Ein geringer Kondensatanteil wird dabei bevorzugt. Eine weitere Aufgabe der Erfindung liegt darin, eine einfache Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur Verfügung zu stellen.

Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst. Erfindungsgemäß wird die Pyrolyse in einem Wanderbettreaktor oder einer Drehtrommel durchgeführt, den Pyrolysegasen ggfl. ein Reaktionsmittel, wie Wasserdampf, zugemischt, und sie in einen indirekten Wärmetauscher geleitet werden, in dem die 30 Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel reagieren. Der feste kohlenstoffhaltige Rückstand und das Wärmeträgermedium werden einer Rostfeuerung zugeführt. Die Feuerungsabgase werden derart durch den indirekten Wärmetauscher geleitet, daß deren Wärmeinhalt für die Reaktion der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel genutzt wird. Die aus der Feuerung abgezogene Asche der festen kohlenstoffhaltigen Rückstände und das Wärmeträgermedium werden am Eintragsende für den organischen Stoff in den Pyrolysereaktor zurückgeführt.

- 35 Die Erfindung beruht auf dem Grundgedanken, das Vergasungsverfahren in drei einfach durchzuführende Verfahrensschritte aufzuteilen. In einem ersten Verfahrensschritt erfolgt eine schnelle Pyrolyse der Einsatzstoffe. Dabei ist es das Ziel, möglichst wenig kondensierbare Stoffe in den Pyrolysegasen zu erhalten. Die schnelle Pyrolyse wird dadurch sichergestellt, daß die Pyrolyse der Einsatzstoffe bei einer Temperatur von 550° bis 650°C durchgeführt wird.

In einem zweiten Verfahrensschritt erfolgt eine Erhitzung und Reaktion der Pyrolysegase mit Wasserdampf zur Einstellung der Produktgasqualität. Die Reaktion der Pyrolysegase mit Wasserdampf wird bei einer Temperatur von 900° bis 1000° C durchgeführt.

- In einem dritten Verfahrensschritt erfolgt die Verbrennung der festen kohlenstoffhaltigen Pyrolyserückstände. Die dabei entstehende Wärme wird für die Pyrolyse und die Reaktion der Pyrolysegase mit Wasserdampf verwendet. In der 45 Feuerung wird außerdem das Wärmeträgermedium aufgeheizt, welches nachfolgend in den Pyrolysereaktor zurückgeführt wird. Die Wärmeübertragung für die Reaktion der Pyrolysegase mit Wasserdampf erfolgt in einem Wärmetauscher, der von den Abgasen der Feuerung beheizt wird.

Der Vorteil dieser Aufteilung der drei Verfahrensschritte ist, daß jeder Verfahrensschritt und die Kombination der Verfahrensschritte entsprechend der Zielsetzung an die Produktgasqualität ausgelegt werden kann.

- Die Zielsetzung bei der Produktgasqualität ist in erster Linie ein hoher Heizwert. Darüberhinaus wird durch den zweiten 50 Verfahrensschritt der Gehalt an Wasserstoff erhöht, so daß sich das Produktgas sehr gut für die Verwendung als Synthesegas eignet, eine energetische Nutzung im Zusammenhang mit einer Brennstoffzelle kommt ebenfalls in Frage. Der Einsatz zur Energiegewinnung über einen Gasmotor oder Gasturbine ist selbstverständlich möglich.

Das Reaktionsmittel ist Wasserdampf. Auf eine Wasserdampfzugabe kann verzichtet werden, wenn genügend Wasserdampf in dem Einsatzstoff enthalten ist, zum Beispiel wenn eine Trocknung des Einsatzstoffes nicht oder nur in geringem Maße erfolgt. Es ist außerdem möglich, daß die entstehenden Pyrolysegase genügend Wasserdampf enthalten, wenn 55 durch die Art des Einsatzstoffes bei der Pyrolyse genügend Wasserdampf entsteht.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können grundsätzlich alle organischen Stoffe und Stoffgemische vergast werden. Bevorzugt ist jedoch die Vergasung von Biomassen.

- Die Einsatzstoffe müssen, bevor sie der Pyrolyse zugeführt werden, vorbehandelt werden. Die Vorbehandlung beschränkt sich im allgemeinen auf eine Trocknung und falls nötig, auf eine Zerkleinerung. Dabei werden an die Stückigkeit des Einsatzstoffes keine großen Anforderungen gestellt, da die Pyrolyse in einem Wanderbett mit einem Wärmeträgermedium durchgeführt wird.

Zur Verbesserung der Crackung der nichtkondensierbaren Stoffe in dem Pyrolysegas kann bei der Reaktion der Pyrolysegase mit Wasserdampf ein Katalysator vorgesehen werden. Bevorzugt werden als Katalysatoren Dolomit, Calcit, 65 Nickel, Nickeloxid, Nickelaluminat oder Nickelspinell verwendet.

Bei Verwendung von Dolomit ist es von Vorteil, daß bei der Reaktionstemperatur von 900° bis 1000°C der Dolomit kalziniert wird und das entstehende von Calcium-/Magnesiumoxid besonders hohe katalytische Aktivität aufweist.

Damit der Katalysator nicht schnell deaktiviert wird, empfiehlt es sich, die heißen Pyrolysegase vor der Zugabe von

Wasserdampf zu entstauben.

In Fällen, bei denen aufgrund des Einsatzstoffes nur eine geringe Pyrolysekoksbildung erfolgt, und somit die in der Feuerung entstehende Wärme für die Pyrolyse und die Reaktion mit Wasserdampf nicht ausreicht, kann ein Teil des Pyrolysegases für die Wärmeerzeugung verbrannt werden.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung können einfache und kostengünstige Komponenten verwendet werden, die an sich bekannt und gut verfügbar sind. Mit diesen Komponenten läßt sich die erfindungsgemäße Vorrichtung einfach aufbauen.

Die Pyrolyse findet in einem Wanderbettreaktor mit Hilfe eines Wärmeträgermediums statt. Hierfür bietet sich in erster Linie der Einsatz eines Schachtofens an, dem das Gemisch aus dem zu vergasenden Einsatzstoff und dem Wärmeträgermedium von oben aufgegeben wird. Das Gemisch wandert durch den Schachtofen. Durch den innigen Kontakt des Einsatzstoffes mit dem Wärmeträgermedium findet die schnelle Pyrolyse statt.

Damit auch bei heterogenen Einsatzstoffen ein Transport durch den Schachtofen gewährleistet ist, können innerhalb des Schachtofens Einbauten oder Förderwendeln vorgesehen werden. Die Einbauten haben zusätzlich den Vorteil, daß die entstehenden Pyrolysegase besser nach oben durch das Wanderbett entweichen können. Allerdings wird der apparative Aufwand dadurch vergrößert.

Grundsätzlich kann die Pyrolyse auch in einer Drehtrommel oder in einem Etagenofen durchgeführt werden, jedoch wäre auch hier der apparative Aufwand größer.

Die Überleitung des Gemisches aus Wärmeträgermedium und Pyrolyserückstand in die Feuerung kann über handelsübliche Aggregate wie Förderschnecken, Schwenkroste, Drehroste oder Zellenradschleusen erfolgen. In Verbindung mit einer Rostfeuerung ist jedoch der Einsatz von Beschickungsstößeln bevorzugt. Bei Einsatz einer Unterschubfeuerung ist die Verwendung von Förderschnecken bevorzugt. Als Feuerung ist eine Rostfeuerung bevorzugt. Die Feuerungsabgase werden durch einen indirekten, gleichzeitig als chemischer Reaktor dienenden Wärmetauscher geleitet, in welchem die Pyrolysegase mit Wasserdampf reagieren. Derartige Wärmetauscher sind z. B. in Raffinerien als Röhrenspaltöfen oder Reformer bekannt.

Auch bei der Förderung des Wärmeträgermediums aus der Feuerung in den Schachtofen können konventionelle Förderorgane wie Schwingrinnen, Becherwerke oder Kettenkratzförderer verwendet werden. Dabei entsprechen die Anforderungen an die Fördertechnik den Anforderungen, die in der Stahlindustrie oder im Kokereibereich auftreten, so daß kein darüberhinausgehender Aufwand für die Auslegung der Aggregate erforderlich ist.

Das Wärmeträgermedium muß eine ausreichende mechanische, chemische und thermische Stabilität in dem Temperaturbereich von 600 bis 1000°C aufweisen. In erster Linie werden feuerfeste Stoffe wie Sand, Kies, Splitt, Alluminosilikate, Korund, Grauwacke, Quarzit oder Cordierit eingesetzt. Der Einsatz von Formkörpern aus metallischen oder nichtmetallischen Werkstoffen oder Kombinationen davon, wie z. B. Kugeln aus Stahl oder Keramik ist ebenfalls möglich.

Im Hinblick auf die Partikelgröße muß das Wärmeträgermedium fein genug sein, um mit dem Einsatzstoff einen innigen Kontakt eingehen zu können, damit ein guter Wärmeübergang stattfinden kann. Auf der anderen Seite müssen die Partikel des Wärmeträgermediums so groß sein, daß genügend Lückenvolumen vorhanden ist, durch das die Pyrolysegase strömen können.

Diese Anforderungen werden am besten erfüllt, wenn das Wärmeträgermedium eine Korngröße von 1–40 mm aufweist. Diese Korngröße hat außerdem den Vorteil, daß sich das Wärmeträgermedium hinter der Feuerung gut von der Asche des Pyrolyserückstandes abtrennen läßt.

Wie schon erwähnt, kann bei der Reaktion der Pyrolysegase mit Wasserdampf ein Katalysator vorgesehen werden. Dazu kann in dem Wärmetauscher eine Katalysatorschüttung angeordnet sein. Je nachdem, ob die Pyrolysegase durch die Rohre des Wärmetauschers oder außerhalb der Rohre durch den Wärmetauscher geführt werden, wird die Katalysatorschüttung innerhalb oder außerhalb der Rohre des Wärmetauschers angeordnet. Es ist auch möglich, ein katalytisch aktives Material für die Wärmetauscherrohre, wie z. B. Korund mit Nickel oder Nickeloxid zu verwenden. Es ist auch möglich, hinter dem Wärmetauscher einen Festbettreaktor mit Katalysatorschüttung vorzusehen.

Falls die Reaktion der Pyrolysegase mit Wasserdampf durch einen Katalysator unterstützt werden soll, empfiehlt es sich die heißen Pyrolysegase, vor dem Kontakt mit dem Katalysator, mit einem Filter zu entstauben.

Die vorgenannten, sowie die beanspruchten und in dem Ausführungsbeispiel beschriebenen, erfindungsgemäß zu verwendenden Verfahrensschritte sowie Bauteile unterliegen hinsichtlich ihrer Verfahrensbedingungen, ihrer Größe, Formgestaltung, Materialauswahl und technischen Konzeption keinen besonderen Ausnahmbedingungen, so daß die in dem jeweiligen Anwendungsgebiet bekannten Auswahlkriterien uneingeschränkt Anwendung finden können.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile des Gegenstandes der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der zugehörigen Zeichnung, in der – beispielhaft – eine bevorzugte Ausführungsform einer Vergasung von organischen Stoffen dargestellt ist. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1 ein Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 die Massen- und Energiebilanz der Pyrolyse- und der Reaktionsstufe,

Fig. 3 die Massen- und Energiebilanz der Feuerung und

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Aus Fig. 1 geht hervor, daß der zu vergasende Einsatzstoff 1 in eine Vorbehandlung 2 geführt wird. Dies kann je nach Einsatzstoff eine Trocknungs- und/oder Zerkleinerungsvorrichtung sein, in der die Einsatzstoffe für die nachfolgende Pyrolyse aufbereitet werden. Der vorbehandelte Einsatzstoff 1 wird in eine Pyrolyse 3 eingebracht. Die Pyrolyse 3 verläßt ein Pyrolysegas 5 und ein Pyrolysekoks 5a.

Der Pyrolysekoks 5a wird in einer Feuerung 6 verbrannt. Die Wärme aus der Feuerung 6 wird über eine Wärmeeinkopplung 7 der Pyrolyse 3 und über eine Wärmeeinkopplung 7a einer Reaktionszone 4 für Pyrolysegas zugeführt. Die Abgase 18 der Feuerung 6 werden in einer Rauchgasreinigungs- und Kühlstufe 17 abgekühlt und abgeleitet. Die mit der Rauchgasreinigungs- und Kühlstufe 17 gewonnene Abwärme kann z. B. für die Trocknung in der Vorbehandlungsstufe 2 verwendet werden.

Je nach Verfahrensbedingungen kann in der Feuerung 6 mehr Wärme entstehen, als für die Wärmeeinkopplungen 7

und 7a benötigt wird. Mit dieser Wärme kann Dampf erzeugt werden. Dazu wird ein Speisewasser 9 über eine Wasseraufbereitung 10 und eine Pumpe 11 in einem Wärmetauscher 12 geleitet, der in der Feuerung 6 angeordnet ist. Der erzeugte Dampf 16 wird in die Reaktionszone 4 geleitet. Ein nicht benötigter Teil kann über eine Turbine 13 entspannt und als Abdampf 16a weiterverwertet werden.

Das Pyrolysegas 5 wird mit dem Wasserdampf 16 der Reaktionszone 4 zugeführt. In dieser Reaktionszone werden das Pyrolysegas und die Crackprodukte der kondensierbaren Stoffe mit Wasserdampf zu dem gewünschten Produktgas 15 umgesetzt. Das Produktgas 15 wird anschließend in einer Entstaubung 8 und einer Feinentstaubung und Quenche 14 gereinigt. Es ist auch möglich, ein Teil 19 des Produktgases 15 der Pyrolyse 3 zuzuführen.

Zur Beeinflussung der Verfahrensschritte Pyrolyse, Verbrennung und Reaktion mit Wasserdampf kann in den einzelnen Verfahrensstufen die Zugabe von Luft und/oder Sauerstoff vorgesehen werden.

Die Fig. 2 zeigt die Massen- und Energiebilanz einer Pyrolysestufe 101 und einer Reaktionsstufe 102 am Beispiel einer Holzvergasung. In die Pyrolysestufe 101 wird Holz 104 und Wärmeträgermedium 104a hineingeführt. Ferner wird der Wärmestrom 111a, der sich aus der Größe und Beschaffenheit der Stoffströme aus Holz 104 und Wärmeträgermedium 104a sowie der angestrebten Pyrolysetemperatur ergibt, hinzugefügt. Die Pyrolysestufe 101 verlassen ein Gemisch 105 aus Holzkohle und Wärmeträgermedium und das Pyrolysegas 106.

Das Pyrolysegas 106 tritt in die Reaktionsstufe 102 ein. Außerdem tritt ein Wärmeverlust 108 auf. In die Reaktionsstufe 102 wird außerdem die Reaktionswärme der Holzkohlebildung 109 und Wasserdampf 112 geführt. Das Produktgas 107 verläßt die Reaktionsstufe 102. Außerdem tritt noch ein Wärmeverlust 110 auf. Aus den zu- bzw. abgeführten Wärme- und Stoffströmen ergibt sich die noch zuzuführende Wärmemenge 111.

In Fig. 3 ist die Massen- und Energiebilanz der Holzkohlenfeuerung 103 dargestellt. Es treten die Stoffströme Gemisch 105 (aus Holzkohle und Wärmeträgermedium 104a), Wasser 117 und Luft 113 in die Feuerung ein, sowie die Stoffströme Abgas 116, Wasserdampf 112 und Gemisch 118 (aus Wärmeträgermedium 104a und Asche) aus. Als Wärmeströme treten aus der Feuerung 111, der in die Reaktionsstufe 102 geführt wird, der Wärmestrom 111a, der in die Pyrolysestufe 101 geführt wird, der Wärmeüberschuß 114 sowie die Verlustwärme 115.

Die Fig. 4 zeigt eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Ein Einsatzstoff 401 wird über eine Schleuse 402 in einen Schachtofen 403 dosiert. Gleichzeitig wird ein Wärmeträgermedium 414 von einer Förderung 409 über eine Schleuse 410 dem Schachtofen 403 zugeführt. In dem Schachtofen 403 wandern der Einsatzstoff 401 und das Wärmeträgermedium 414 nach unten und mischen sich, wobei durch die in dem Wärmeträgermedium 414 enthaltene Wärme der Einsatzstoff 401 bei ca. 600°C pyrolysiert wird.

Am unteren Ende des Schachtofens 403 wird das Gemisch aus Wärmeträgermedium 414 und dem aus dem Einsatzstoff 401 durch Pyrolyse entstandenen Pyrolysekoks 426 durch eine Beschickung 404 auf einen Rost 405 einer ausgemauerten Feuerung 407 geführt. Die Feuerung 407 verfügt über einen Anfahrbrönnner 406. Auf dem Rost 405 brennt der Pyrolysekoks 426 unter Wärmeabgabe aus. Dadurch wird das Wärmeträgermedium 414 auf ca. 1000°C aufgeheizt. Das Wärmeträgermedium 414 besteht aus einem grobkörnigen Material wie Sand, Kies oder Split. Während der Verbrennung wandern das Wärmeträgermedium 414 und der Pyrolysekoks 426 bis zu einer Schnecke 408 am Ende des Rostes 405, mit der die Asche des Pyrolysekoks 426 und das Wärmeträgermedium 426 ausgetragen werden. Der größte Teil dieses Gemisches aus Wärmeträgermedium 414 und Asche wird über die Förderung 409 und die Schleuse 410 in den Schachtofen 403 zurückgeführt, in dem das Wärmeträgermedium 414 die in der Feuerung 407 aufgenommene Wärme an den Einsatzstoff 401 abgibt.

Ein kleinerer Teil des Gemisches aus Asche des Pyrolysekoks 426 und Wärmeträgermedium 414 wird über eine Kühlung 411 und ein Sieb 412 ausgetragen. Durch das Sieb 412 wird die Asche des Pyrolysekoks 426 als Feingut 413 von dem größeren Wärmeträgermedium 414 abgeschieden, wobei das Wärmeträgermedium 414 dem Prozeß wieder zugeführt wird. Diese Ausschleusung erübrigt sich, wenn der zu vergasende Einsatzstoff keine aschebildenden Bestandteile enthält.

Das bei der Pyrolyse in dem Schachtofen 403 entstehende Pyrolysegas wird aus dem oberen Bereich des Schachtofens 403 über eine Leitung 403a abgezogen und in einen Wärmetauscher 417 geleitet. Das Pyrolysegas enthält neben Wasser, Kohlenmonoxyd, Kohlendioxyd, Wasserstoff und Methan auch höhere Kohlenwasserstoffe und Teere sowie andere organische, insbesondere aromatische Verbindungen als kondensierbare Bestandteile. Der Wärmetauscher 417 wird durch die Abgase der Feuerung 407 auf eine Temperatur von ca. 950°C aufgeheizt. Bei dieser Temperatur reagieren das Pyrolysegas und die kondensierbaren Stoffe mit Wasserdampf, der in dem Pyrolysegas enthalten ist. Zusätzlich wird in die Leitung 403a Wasserdampf 416 für die Reaktionen in dem Wärmetauscher 417 zugeführt. Für eine weitere Temperaturerhöhung in dem Wärmetauscher 417 kann auch Luft 415 für eine Teilverbrennung des Pyrolysegases zugeführt werden. Zur Verbesserung der Crackung der mitgeführten Teere, kann in dem Wärmetauscher ein Katalysator vorgesehen sein.

Es ist auch möglich, den Katalysator im Flugstrom dem Pyrolysegasstrom aufzugeben und ihn hinter dem Wärmetauscher 417 wieder abzuscheiden und neu einzusetzen.

Den Wärmetauscher 417 verläßt ein Produktgas, dessen Anteile an Kohlenmonoxyd und Wasserstoff maximiert worden sind. Dieses Gas wird durch einen Wärmetauscher 421 zur Abhitzenutzung und in einen Wäscher 422 zur Gasreinigung geführt. Über ein Saugzuggebläse 423 wird ein Produktgas 425 abgezogen.

Das Abgas der Feuerung 407 wird, nachdem es durch den Wärmetauscher 417 geströmt ist, durch einen Wärmetauscher 418 zur Abhitzenutzung geleitet. Nach einer Gasreinigung 419 wird das Abgas 424 über ein Saugzuggebläse 420 in die Umgebung abgegeben.

Sowohl die Feuerung 407, als auch der Wärmetauscher 417 werden bei einem Druck betrieben, der nur geringfügig von dem Atmosphärendruck abweicht und in der Regel etwas geringer als dieser ist. Die Saugzuggebläse 423 für das Produktgas 425 und 420 für das Abgas 424 werden derart geregelt und aufeinander abgestimmt, daß das Pyrolysegas durch den Wärmetauscher 417 geführt wird und nicht durch die Schüttung des Schachtofens in die Feuerung 407 gesaugt wird.

## Ausführungsbeispiel

In der Vorrichtung gemäß Fig. 4 werden 1000 kg/h Holz vergast. Das Holz enthält 3% Asche (wasserfrei) und besteht ansonsten im wesentlichen aus 50% Kohlenstoff, 6% Wasserstoff, 42% Sauerstoff und 1,9% Stickstoff, wasser- und aschefrei gerechnet. Der obere Heizwert beträgt 17,9 MJ/kg in wasserfreiem Zustand. Die thermische Vergaserleistung beträgt 4,97 MW. Die Pyrolyse wird bei 600°C und die Reaktion mit Wasserdampf bei 950°C durchgeführt. Der Arbeitsdruck ist Atmosphärendruck.

Als Wärmeträgermedium wird Kies mit einer Korngröße von 3 mm bis 15 mm verwendet. Der Kies wird von 600°C auf 950°C aufgeheizt. Aufgrund der erforderlichen Wärmeleistung von 380 KW beträgt die Umlaufmenge des Wärmeträgermediums das 5-fache des Holzeintrages, d. h. 5000 kg pro Stunde. Der Schachtofen hat eine Höhe von 4,5 m und einen Durchmesser von 1,5 m – das entspricht einem Wanderbettvolumen von 7,5 m<sup>3</sup>. Die Verweilzeit in dem Schachtofen beträgt zwei Stunden.

In der Pyrolyse wird das Holz so umgesetzt, daß 20 Massenprozent des Holzes als Holzkohle übrigbleiben. In der folgenden Tabelle sind die Mengen und Zusammensetzungen des Holzes und des Pyrolysekokes (Holzkohle) aufgeführt:

Stoffstrom	Holz	Holzkohle
m [kg/h]	1000	200
H <sub>u</sub> [MJ/kg] wf	17,9	33,5
C [Gew.-%] waf	52,1	92,2
H [Gew.-%] waf	4,8	2,6
O [Gew.-%] waf	42,4	5,2
Asche [Gew.-%] wf	3,4	17,0

Es wird folgendes Produktgas erhalten:

Heizwert [MJ/Nm <sup>3</sup> ]	10,5
H <sub>2</sub> [Vol.-% tr.]	51,1
CO [Vol.-% tr.]	39,7
CH <sub>4</sub> [Vol.-% tr.]	0,01
CO <sub>2</sub> [Vol.-% tr.]	9,2
H <sub>2</sub> O [Vol.-%]	14,8
Chem. Enthalpiestrom [MW]	3,9
Menge [Nm <sup>3</sup> /h]	1.338

Der Enthalpiestrom der Holzkohle in der Feuerung beträgt 1,86 MW. Dies reicht aus, um einen Dampfstrom von 0,45 MW (360 kg/h bei 950°C und Atmosphärendruck) zu erzeugen sowie den Wärmebedarf der Reaktion des Pyrolysegases mit Wasserdampf in Höhe von 0,84 MW abzudecken. Der Feuerungswirkungsgrad beträgt 85%. Es verbleiben noch nach Berücksichtigung des Wärmeverlustes und des Verlustes durch den Abgasstrom 0,26 MW. Damit wurden 324 kg/h eines Heißdampfes erzeugt, der über eine Turbine entspannt und als Heizdampf verwendet wurde. Der Kaltgaswirkungsgrad beträgt 79%.

## Bezugszeichenliste

- 1 Einsatzstoff
- 2 Vorbehandlungsstufe
- 3 Pyrolyse
- 4 Reaktionszone
- 5 Pyrolysegas
- 5a Pyrolysekoks
- 6 Feuerung
- 7 Wärmeeinkopplung
- 7a Wärmeeinkopplung
- 8 Entstaubung
- 9 Speisewasser
- 10 Wasseraufbereitung
- 11 Pumpe

- 12 Wärmetauscher
- 13 Turbine
- 14 Feinentstaubung/Quenche
- 15 Produktgas
- 5 16 Dampf
- 16a Abdampf
- 17 Wärmetauscher/Rauchgasreinigung
- 18 Abgas
- 19 Produktgas
- 10 20 Luft
- 101 Pyrolysestufe
- 102 Reaktionsstufe
- 103 Feuerung
- 104 Holz
- 15 104a Wärmeträgermedium
- 105 Gemisch
- 106 Pyrolysegas
- 107 Produktgas
- 108 Verlustwärme
- 20 109 Bildungswärme
- 110 Verlustwärme
- 111 Wärmezufuhr Reaktionsstufe
- 111a Wärmezufuhr Pyrolysestufe
- 112 Heißdampf
- 25 113 Luft
- 114 Wärmeüberschuß
- 115 Wärmeverlust
- 116 Abgas
- 117 Wasser
- 30 118 Gemisch
- 401 Einsatzstoff
- 402 Schleuse
- 403 Schachtofen
- 403a Leitung
- 35 404 Beschickung
- 405 Rost
- 406 Anfahrbrenner
- 407 Feuerung
- 408 Schnecke
- 40 409 Förderung
- 410 Schleuse
- 411 Kühlung
- 412 Sieb
- 413 Feingut
- 45 414 Wärmeträgermedium
- 415 Luft
- 416 Wasserdampf
- 417 Wärmetauscher
- 418 Wärmetauscher
- 50 419 Gasreinigung
- 420 Saugzuggebläse
- 421 Wärmetauscher
- 422 Wäscher
- 423 Saugzuggebläse
- 55 424 Abgas
- 425 Produktgas
- 426 Pyrolysekoks ,

#### Patentansprüche

- 60 1. Verfahren zur Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen, bei dem
  - a) die organischen Stoffe in einen Pyrolysereaktor geleitet werden, in welchem die organischen Stoffe mit einem Wärmeträgermedium in Kontakt gehalten werden, wodurch eine schnelle Pyrolyse stattfindet, bei der die organischen Stoffe in Pyrolyseprodukte umgesetzt werden, wobei die Pyrolyseprodukte aus Pyrolysegasen mit kondensierbaren Stoffen und einem festen kohlenstoffhaltigen Rückstand bestehen
  - 65 b) der feste kohlenstoffhaltige Rückstand und das Wärmeträgermedium einer Feuerung zugeführt werden, in der der kohlenstoffhaltige Rückstand verbrannt und das Wärmeträgermedium aufgeheizt und wieder dem Pyrolysereaktor zugeführt wird (Wärmeträgermedium-Kreislauf)

- c) die teerhaltigen Pyrolysegase in einer zweiten Reaktionszone derart nacherhitzt werden, daß ein Produktgas mit hohem Heizwert erhalten wird,  
dadurch gekennzeichnet, daß
- d) die Pyrolyse in einem Wanderbettreaktor oder einer Drehtrommel durchgeführt wird,
- e) den Pyrolysegasen ggf. ein Reaktionsmittel, wie Wasserdampf, zugemischt, und sie
- f) in einen indirekten Wärmetauscher geleitet werden, in dem die Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel reagieren,
- g) die Feuerungsabgase derart durch den indirekten Wärmetauscher geleitet werden, daß deren Wärmeinhalt für die Reaktion der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel genutzt wird, und
- h) die aus der Feuerung abgezogene Asche der festen kohlenstoffhaltigen Rückstände und das Wärmeträgermedium am Eintragsende für den organischen Stoff in den Pyrolysereaktor zurückgeführt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Pyrolyse bei einer Temperatur von 550° bis 650°C durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Reaktion der Pyrolysegase mit Wasserdampf bei einer Temperatur von 900°–1000°C durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Reaktion der Pyrolysegase mit Wasserdampf in Gegenwart eines Katalysators durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Katalysator Dolomit, Calcit, Nickel, Nickeloxid, Nickelaluminat oder Nickelspinell verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die heißen Pyrolysegase vor der Zugabe von Wasserdampf entstaubt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß den heißen Pyrolysegasen der Katalysator im Flugstrom zugegeben und nach der Reaktion mit Wasserdampf abgeschieden und im Kreislauf den heißen Pyrolysegasen wieder zugegeben wird.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Pyrolysegase nach der Reaktion mit Wasserdampf entstaubt und gequecht werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil des Pyrolysegases verbrannt und die Wärme für die Pyrolyse und/oder die Reaktion mit Wasserdampf genutzt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der feste kohlenstoffhaltige Rückstand und das Wärmeträgermedium einer Rostfeuerung zugeführt werden.
11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 10 mit einem Pyrolysereaktor, einer Feuerung für den Pyrolyserückstand, einer Reaktionszone für die Pyrolysegase, einem Wärmeträgerkreislauf zwischen dem Pyrolysereaktor und der Feuerung, dadurch gekennzeichnet, daß ein Schachtofen (403) oder eine Drehtrommel mit einer Schleuse (402) für einen Einsatzstoff (401) und einer Schleuse (410) für ein Wärmeträgermedium (414) neben einer Feuerung (407) mit einem Rost (405) angeordnet ist und der Schachtofen (403) an seinem unteren Ende eine Beschickung (404) für die Feuerung (407) aufweist und die Abgase (424) der Feuerung (407) einem Wärmetauscher (417) zuführbar sind, der über eine Leitung (403a) für die Pyrolysegase mit dem Schachtofen (403) verbunden ist und die Feuerung (407) über eine Austrageeinrichtung, wie Schnecke (408), an eine Förderung (409) für das Wärmeträgermedium (414) angeschlossen ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Wärmeträgermedium aus feuerfesten Stoffen wie Sand, Kies, Splitt, Aluminosilikat, Korund, Grauwacke, Quarzit oder Cordierit besteht.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Wärmeträgermedium aus Formkörpern aus metallischen oder nicht metallischen Werkstoffen wie Stahl oder Kermikkugeln besteht.
14. Vorrichtung nach den Ansprüchen 12 und 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Wärmeträgermedium eine Korngröße von 1 bis 40 mm aufweist.
15. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Feuerung (407) als Rostfeuerung ausgeführt ist.
16. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmetauscher (417) eine Katalysatorfüllung aufweist.
17. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Rohre des Wärmetauschers (417) aus katalytisch aktivem Material bestehen.
18. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß dem Wärmetauscher (417) ein Festbettreaktor mit Katalysatorschüttung zugeordnet ist.
19. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß dem Wärmetauscher (417) ein Filter zur Entstaubung vorgeschaltet ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

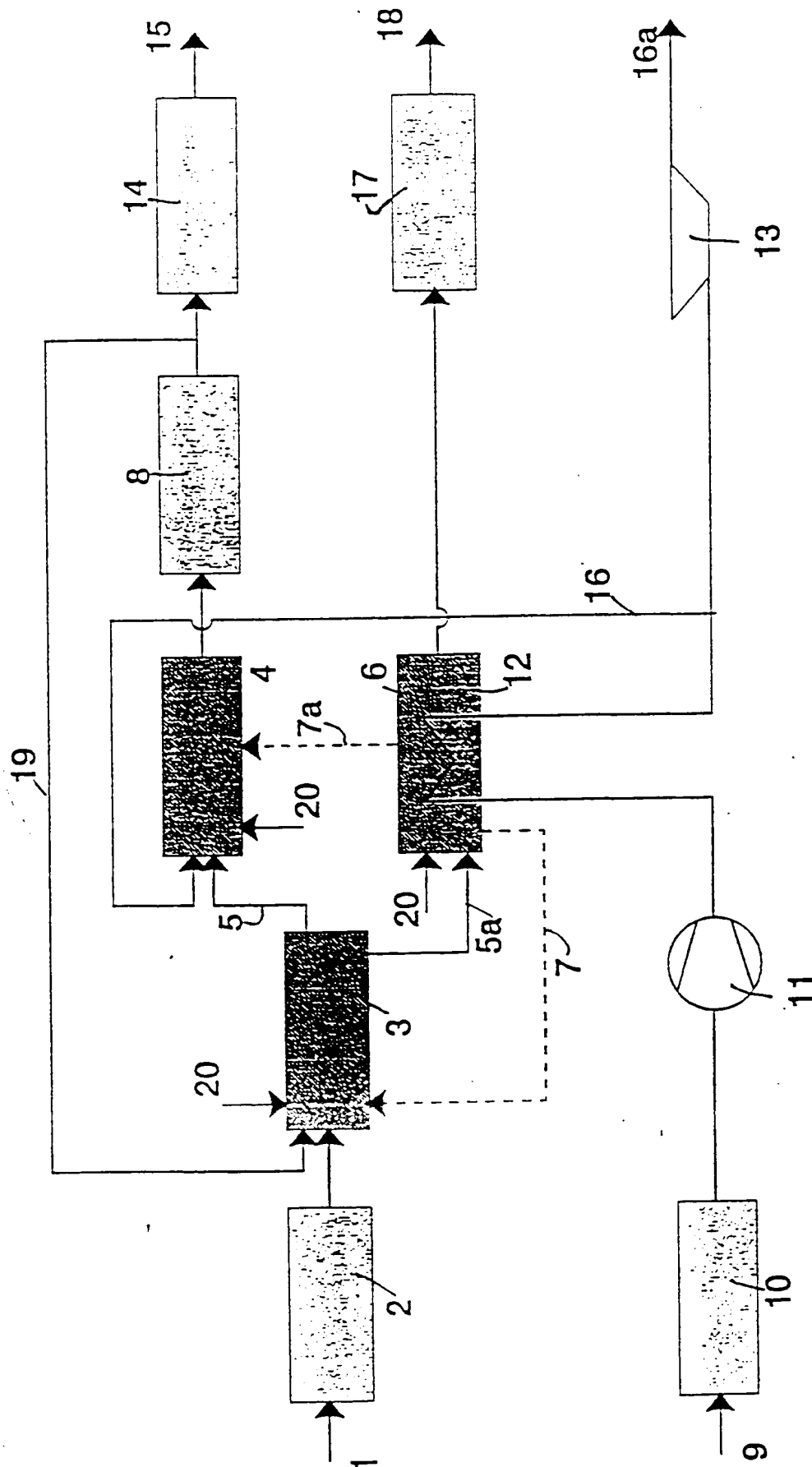


Fig. 1

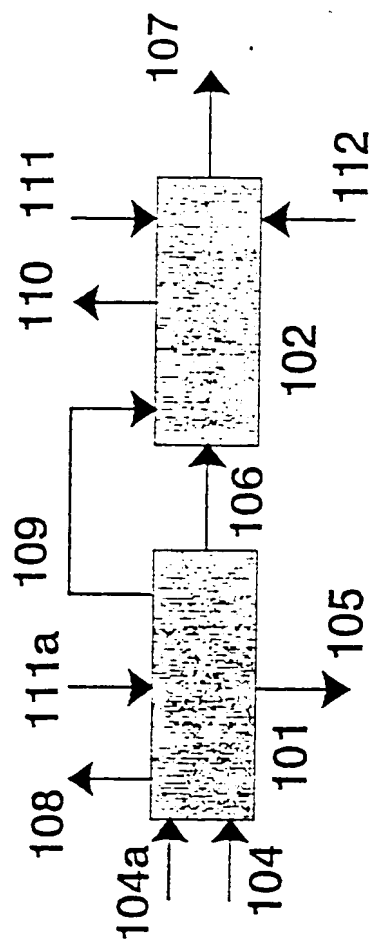


Fig. 2

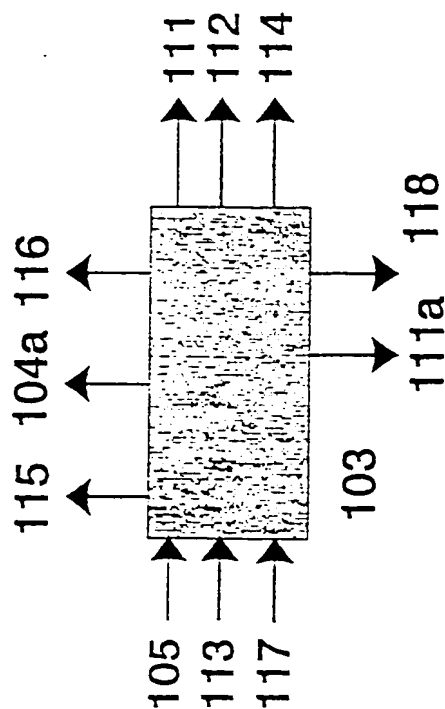


Fig. 3

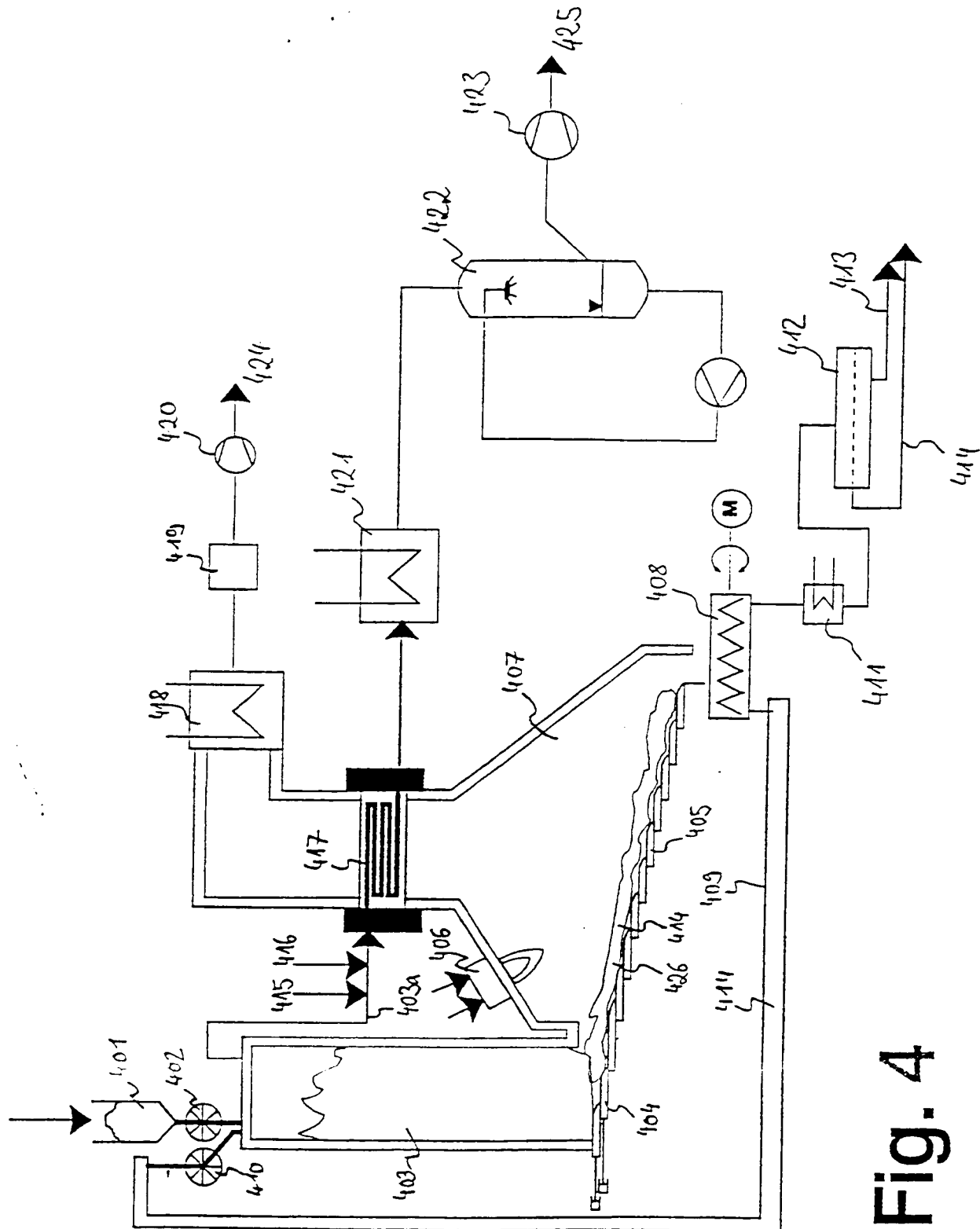


Fig. 4